

# Магнитные силы, действующие на немагнитные твердые тела в магнитной жидкости в рамках индукционного приближения (эксперимент, численное моделирование, теория)

Иванов А. С.<sup>1</sup>, Пшеничников А. Ф.<sup>1</sup>, Хохрякова К. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИМСС УрО РАН, г. Пермь, Россия

Электронная почта ответственного автора: [lesnichiy@icmm.ru](mailto:lesnichiy@icmm.ru)

Работа посвящена численному исследованию магнитогидродинамических сил, действующих на твердые немагнитные тела, погруженные в намагниченную магнитную жидкость. Исследованная задача имеет ряд отличительных особенностей в сравнении с классическими работами, посвященными левитации (самовзвешенному состоянию) постоянных магнитов в магнитной среде [1]. Основным отличием является то, что к этим задачам неприменимы типичные упрощающие приближения: случай слабого и сильного магнитного поля, безындукционное приближение (non-inductive approach), которое в науке о магнитных коллоидах предполагает пренебрежение размагничивающими полями, создаваемыми магнитной жидкостью. Как известно, магнитогидродинамическая сила состоит из двух составляющих:  $F_I$  — компонента, отражающая вклад объёмных сил, и  $F_{II}$  — компонента, связанная со скачком магнитного давления на поверхности твёрдого тела (Рис. 1). При этом вычисления поверхностных интегралов имеют ряд ограничений из-за того, что на поверхности тела компоненты магнитного поля  $B$ ,  $H$  терпят разрыв, что приводит к большим погрешностям вычислений. Эти трудности обходят так [3]: вычисления проводятся не по поверхности тела, а по вспомогательной виртуальной поверхности (eggshell), расположенной от настоящей на некотором расстоянии. Такие вычисления требуется повторять многократно и истинное значение сил находить экстраполяцией.

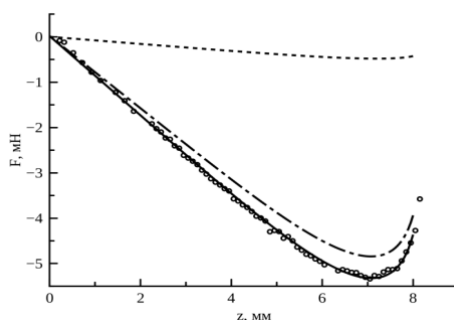


Рис. 1 Магнитная сила, действующая на оловянный шарик в ФЖ при  $H_0 = 20$  кА/м: точки — эксперимент [2, 1], пунктирная линия — сила  $F_{II}$ , штрих-пунктирная линия — сила  $F_I$ , сплошная линия — равнодействующая сил

В предлагаемой работе используется альтернативный энергетический подход, лишенный указанных трудностей и недостатков, так как энергия вычисляется как интеграл по его объёму. Также вычисление энергии в программных пакетах реализовано в виде готовых функций, использование которых намного проще, чем формул для  $F_I$  и  $F_{II}$ , так как последние зависят от формы тела.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-31-70034.

- [1] Rosensweig R.E., Nature, 210 (1966) 613.
- [2] Landau L.D., Lifshitz E.M. Electrodynamics of continuous media, Pergamon Press. 1960.
- [3] Henrotte F., Hameyer K., J. Comp. App. Math. 168 (2004) 235.